

Superheavy Nuclei

Rosner Michael

18. Dezember 2015

Inhaltsverzeichnis

Einleitung

Kernreaktionen

Wahl von Projektil und Target

Kalte Fusion

Heisse Fusion

Experimenteller Aufbau

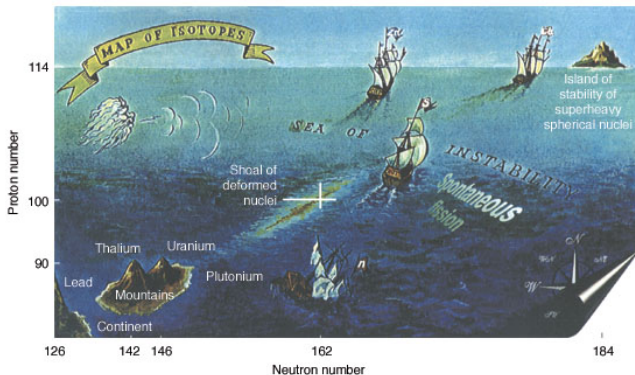
Beschleuniger

Separation und Detektion

Nachweis

Ergebnis und weiterer Ausblick

Island of Stability

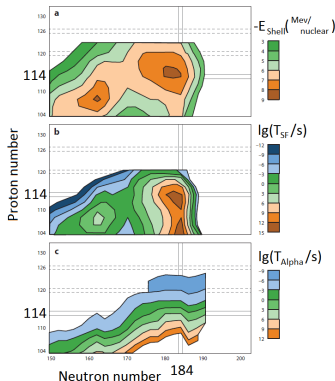


Quelle: <https://www.llnl.gov/>

Island of Stability

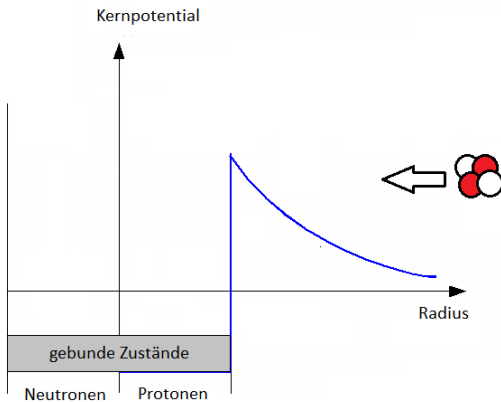
- ▶ Kerne mit hoher Ordnungszahl und Massenzahl
- ▶ Z und N nahe einer magischen Zahl
- ▶ Großer Energieunterschied zur nächsten Schale
- ▶ erhöhte Stabilität gegenüber kleineren Kernen
- ▶ Verschiedene Berechnungen und Kernmodelle:
- ▶ $Z = 102, 108, 114, 120, 126$; $N = 152, 162, 184$

Island of Stability



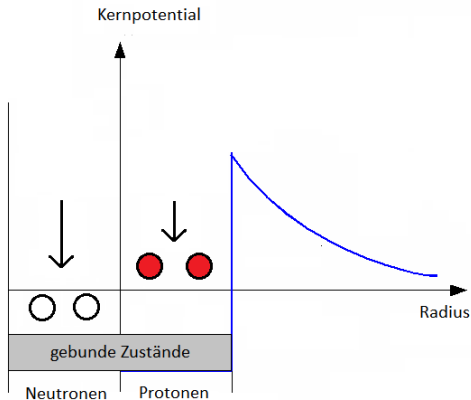
Quelle: Search for Superheavy Nuclei, J.H. Hamilton, S. Hofmann and Y.T. Oganessian, Annu. Rev. Nucl. Part. Sci. 2013. 63:383-405

Beschuss eines Kerns



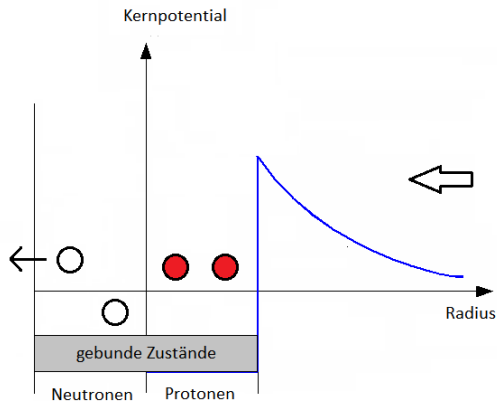
$$V_c = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{Z_1 Z_2}{r}$$

Aufspaltung des Projektils



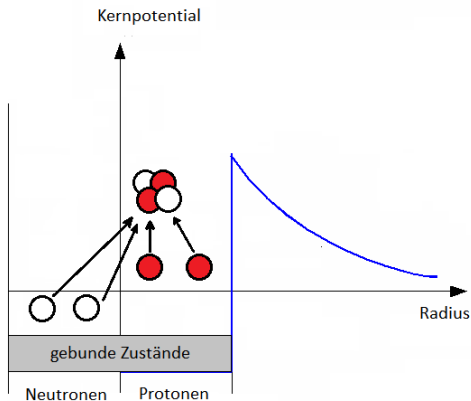
Entstandener Kern mit Energieüberschuss

Abdampfen von Neutronen



Zufällige Richtung

α - Zerfall



Wichtig: diskrete, Isotopen abhängige Energien

Wahl der Projektile

- ▶ Bis 1974: Schwere Kerne dienen als Target
- ▶ kleine Projektile, zunächst n und α
- ▶ nur begrenzte Teilchenströme
- ▶ Atomgrößen begrenzt
- ▶ $\Rightarrow$ größere Projektile

Kalte Fusion

- ▶ stößt nur ein Neutron ab
- ▶ Target: $^{208}_{82}\text{Pb}$ und $^{209}_{83}\text{Bi}$
- ▶ Projektil: $^{54}_{24}\text{Cr}$ bis $^{70}_{30}\text{Zn}$
- ▶ Erstmals verwendet 1973 am FLNR:
- ▶ $^{40}_{18}\text{Ar} + ^{208}_{82}\text{Pb} \rightarrow ^{248}_{100}\text{Fm}^*$
- ▶ Nachteil:
 - ▶ Abnahme des Wirkungsquerschnitts mit zunehmenden Z
 - ▶ ($Z = 103$ zu $Z = 113$ um Faktor 10^8)
 - ▶ Produkt hat kurze Lebenszeit aufgrund Neutronenmangel

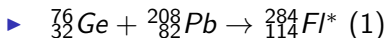
Heisse Fusion

- ▶ Asymetrische Reaktionen
- ▶ $\Rightarrow$ kleinere Coulomb Abstoßung
- ▶ $\Rightarrow$ größerer Wirkungsquerschnitt
- ▶ Projektil: $^{48}_{20}\text{Ca}$ (doppel-magisch)
- ▶ Target: ^{88}Ra bis ^{98}Cf
- ▶ Nachteil:
 - ▶ Energieüberschuss $\sim 30\text{MeV} \Rightarrow$ 3-5 Neutronen abgestoßen
 - ▶ $\Rightarrow$ größere Geschwindigkeitsverteilung
 - ▶ Targets vergleichsweise selten

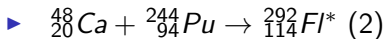
Vergleich

Beispiel: Bildung von Flerovium

► Kalte Fusion:



► Heisse Fusion

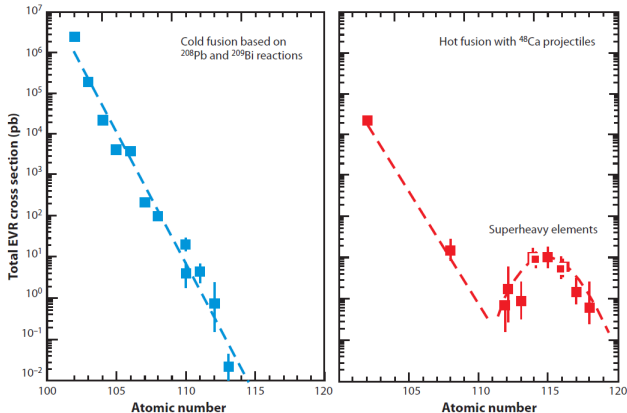


► $\frac{V_{C1}}{V_{C2}} = \frac{32 \cdot 82}{20 \cdot 94} \approx 1.4$

Superheavy Nuclei

└ Wahl von Projektil und Target

└ Heisse Fusion



Quelle: Search for Superheavy Nuclei, J.H. Hamilton, S. Hofmann and Y.T. Oganessian, Annu. Rev. Nucl. Part. Sci. 2013. 63:383-405

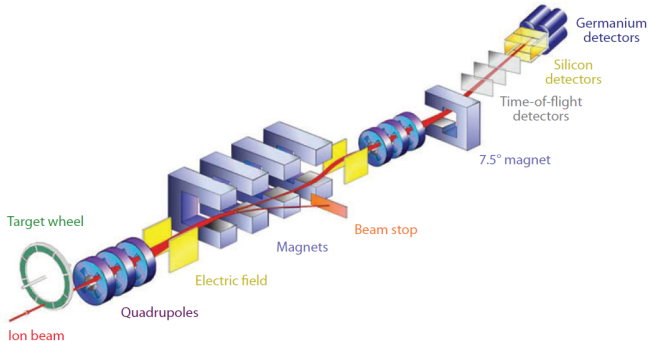
Neue Beschleuniger

- ▶ Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI)
- ▶ Universal Linear Accelerator (UNILAC)
- ▶ $E_{max} \approx 10 \text{ MeV/Nucleon}$
- ▶ Flerov Institute for Nuclear Research (FLNR)
- ▶ Zyklotron U400
- ▶ $E_{max} \approx 30 \text{ MeV/Nucleon}$
- ▶ Zum Vergleich: typische Bindungsenergie $\sim 8 \text{ MeV}$

Schwierigkeiten

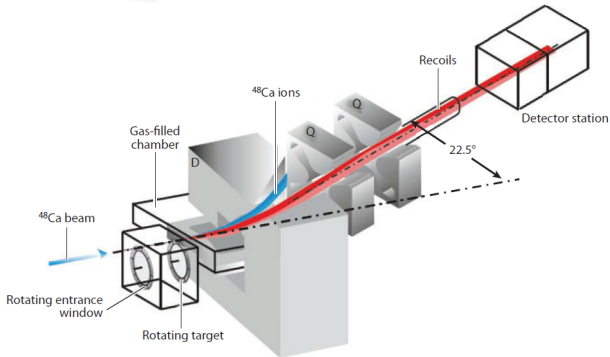
- ▶ kurze Lebenszeit $\sim \mu s$
- ▶ geringe Ausbeute
- ▶ Geschwindigkeitsverteilung
- ▶ $\Rightarrow$ genaue und schnelle Separator und Detektorsysteme
- ▶ GSI: Separator for Heavy Ion-reaction Products (SHIP)
- ▶ FLNR: Dubna Gas Filled Recoil Separator (DGFRS)

SHIP der GSI in Darmstadt



Quelle: Search for Superheavy Nuclei, J.H. Hamilton, S. Hofmann and Y.T. Oganessian, Annu. Rev. Nucl. Part. Sci. 2013. 63:383-405

DGFRS am FLNR in Dubna

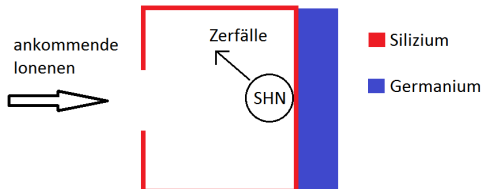


Quelle: Search for Superheavy Nuclei, J.H. Hamilton, S. Hofmann and Y.T. Oganessian, Annu. Rev. Nucl. Part. Sci. 2013. 63:383-405

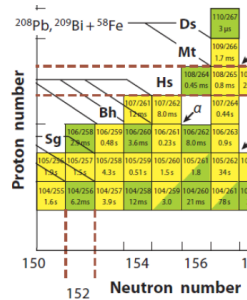
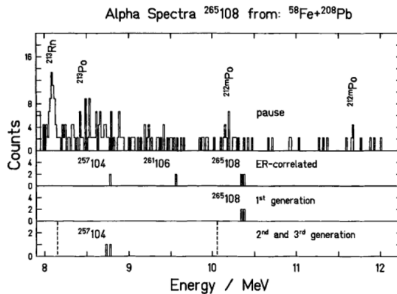
Detektoren

- ▶ Time of flight - Detektoren:
 - ▶ Start-Stop Messung der Flugzeit
- ▶ Halbleiter Detektoren:
 - ▶ Dotierter Halbleiter
 - ▶ Diode mit angelegter Spannung in Sperrichtung
 - ▶ Einfallende Strahlung:
 - ▶ Bildung von Elektron-Loch-Paaren
 - ▶ Materialien:
 - ▶ Silizium: Hohe Ortsauflösung $\sim mm$
 - ▶ Germanium: Messung von γ und Röntgenstrahlung

Detektoren



Nachweis



Quelle: Dorin N. Poenaru, Walter Greiner: Experimental Techniques in Nuclear Physics

Ergebnisse

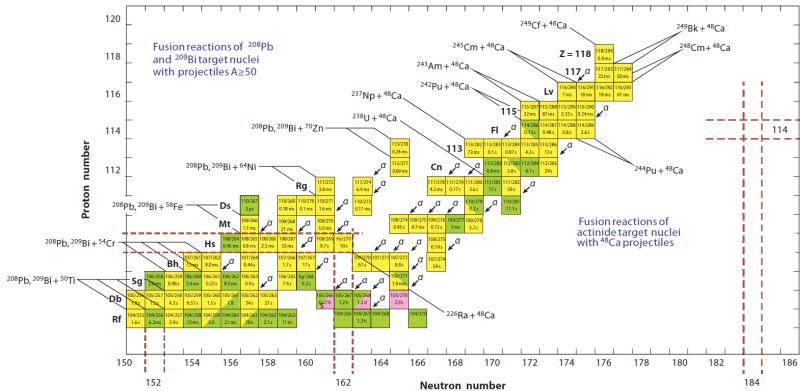
Kalte Fusion:

- ▶ GSI 1980 - 2000
- ▶ Bildung von Kernen mit Z zwischen 107 und 112

Heisse Fusion:

- ▶ FLNR seit 1998
- ▶ Bildung von Kernen mit Z zwischen 113 und 118

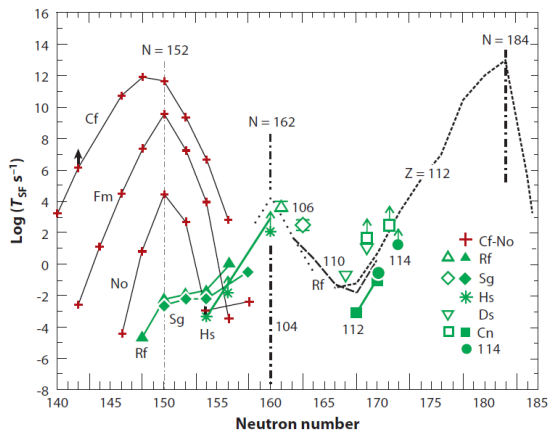
Gefundene Elemente



Gelb: α Grün: SF Rosa: EC

Quelle: Search for Superheavy Nuclei, J.H. Hamilton, S. Hofmann and Y.T. Oganessian, Annu. Rev. Nucl. Part. Sci. 2013. 63:383-405

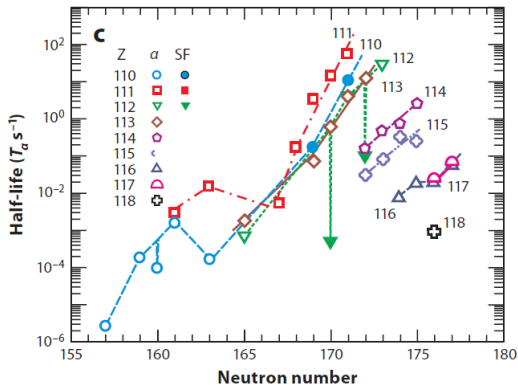
Spontane Spaltung



Quelle: Search for

Superheavy Nuclei, J.H. Hamilton, S. Hofmann and Y.T. Oganessian, Annu. Rev. Nucl. Part. Sci. 2013. 63:383-405

Alphazerfall



Quelle: Search for Superheavy Nuclei, J.H. Hamilton, S. Hofmann and Y.T. Oganessian, Annu. Rev. Nucl. Part. Sci. 2013. 63:383-405

Zukünftige Experimente

- ▶ Am FLRN mit seltenen $^{249-251}_{98}\text{Cf}$ Isotopen
- ▶ Die GSI mit größeren Targets, zB. Uran
- ▶ Stärkerer Teilchenstrom

Zusammenfassung

- ▶ Trotz ansteigender Coulombabstoßung erhöht sich die Halbwertszeit nahe magischer Zahlen
- ▶ $\Rightarrow$ Bekräftigung der Schalenmodells
- ▶ Steigende Halbwertszeit mit steigender Neutronenzahl
- ▶ $\Rightarrow$ Stabilere schwere Kerne möglich als bisher gefunden

Quellen

- ▶ Search for Superheavy Nuclei, J.H. Hamilton, S. Hofmann and Y.T. Oganessian, Annu. Rev. Nucl. Part. Sci. 2013. 63:383-405
- ▶ <https://www.gsi.de>
- ▶ <https://www.llnl.gov/>
- ▶ Wikipedia